

О применении ОПН для грозозащиты ВЛ 6-10 кВ

Доклад на семинаре ОАО «НПО «Стример»
(16 июля 2009 г., г. Санкт-Петербург)



Смотрите на RusCable.Ru в разделе «Видео»

По распределительным сетям 6-10 кВ осуществляется непосредственное электроснабжение потребителей, и от надежности их работы в значительной мере зависит надежность электроснабжения в целом. Одной из основных причин аварий и нарушений являются грозовые перенапряжения на воздушных линиях (ВЛ), вызывающие импульсные перекрытия и разрушения изоляторов и приводящие к дуговым замыканиям, сопутствующим повреждениям оборудования, отключениям линий. Аварийные отключения ВЛ 6-10 кВ по причине грозовых перенапряжений составляют до 40% от общего числа их отключений.

Действовавшие долгое время в России нормы не предусматривали какой-либо специальной защиты от грозовых перенапряжений ВЛ с неизолированными проводами напряжением до 20 кВ, за исключением случаев защиты отдельных точек ВЛ с ослабленной изоляцией или с повышенными требованиями по надежности. В этих местах предполагалась установка трубчатых или вентильных разрядников, нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), а также искровых промежутков при наличии автоматического повторного включения (АПВ), эффективность которого для распределительных сетей составляет не более 50%. Поскольку оно, к тому же, негативным образом отражается на коммутирующем и другом высоковольтном оборудовании, АПВ применяется далеко не везде.

Такое объективное состояние проблемы грозозащиты распределительных ВЛ приводило к признанию неизбежности их грозовых аварийных отключений и повреждений в силу отсутствия экономически доступных технических средств.

Возможность решить проблему грозозащиты ВЛ 6-10 кВ появилась с появлением длинно-искровых разрядников (РДИ) [1]. Принцип действия РДИ состоит в том, что за счет использования эффекта скользящего разряда обеспечивается весьма длинный путь перекрытия по поверхности РДИ. Благодаря большой длине пути перекрытия исключается переход импульсного разряда в силовую дугу промышленной частоты. Отличительной особенностью РДИ является то обстоятельство, что разряд происходит **вне аппарата** и не представляет для него опасности.

Преимущества РДИ по сравнению с другими системами грозозащиты ВЛ подтверждены решением НТС РАО «ЕЭС России» от 24.03.2000. РДИ рекомендованы «Методическими указаниями по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ от грозовых перенапряжений» ОАО «ФСК ЕЭС» (2004 г.) и «Положением о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» в распределительном электросетевом комплексе», ФСК (2006 г.). В настоящее время в сетях 6-10 кВ успешно эксплуатируются более 200 тыс. РДИ.

За рубежом для грозозащиты ВЛ среднего класса напряжения (СН) 6-70 кВ применяются различного типа стержневые искровые промежутки (или, как их еще называют, «дугозащитные рога»), а также ОПН. Недостатки «дугозащитных рогов» хорошо известны (см., например, [1]), и в настоящее время на ВЛ 6-10 кВ они запрещены «Положением о технической политике» ФСК [2].

Хорошо известно также, что для защиты оборудования на подстанциях во всем мире, в том числе и в нашей стране, успешно применяются ОПН. Общее число установленных в мире ОПН оценивается сотнями миллионов штук.

С ориентировкой на информацию об успешном применении ОПН на подстанциях, а также об использовании ОПН на ВЛ, в нашей стране также делаются попытки по грозозащите ВЛ СН при помощи ОПН. В этой связи представляется важным и своевременным проанализировать условия работы ОПН на ВЛ СН, а также зарубежный опыт их применения на таких линиях.

Условия работы ОПН на подстанциях и на ВЛ

На подстанциях ОПН защищают оборудование от грозовых перенапряжений, приходящих по ВЛ (см. рис. 1). Наибольшее значение импульса грозового перенапряжения ограничено уровнем линейной изоляции. Если грозовое перенапряжение на проводе ВЛ больше, чем разрядное напряжение линейного изолятора (или гирлянды изоляторов), изолятор перекрывается, и напряжение срезается до нуля. При этом образуется срезанный импульс, длительностью в несколько микросекунд. Проходя по проводу значительное расстояние, он несколько сглаживается и уменьшается по величине. Поэтому для испытаний ОПН, устанавливаемых на

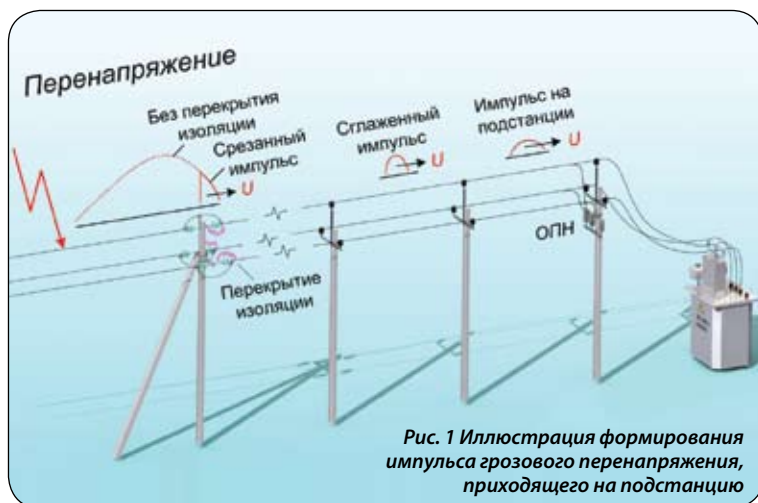


Рис. 1 Иллюстрация формирования импульса грозового перенапряжения, приходящего на подстанцию

подстанциях, МЭК и ГОСТ рекомендуют грозовой импульс 4/10 мкс [3].

При воздействии такого короткого импульса энергия, которую должен рассеять ОПН, относительно невелика, и большинство применяемых на подстанциях ОПН справляются с этой задачей.

ОПН, установленный на ВЛ СН без грозозащитного троса, работает совершенно в других, гораздо более тяжелых условиях. При ударе молнии в провод вблизи опоры часть тока молнии расходится по проводу в разные стороны от места удара. Волновое сопротивление провода составляет примерно 400 Ом, волновое сопротивление проводов, расходящихся в обе стороны от места удара молнии, вдвое меньше, т.е. 200 Ом, а сопротивление заземления опоры может иметь величину порядка 10 Ом. Поэтому в первый момент основная доля тока протекает через установленный на пораженной опоре ОПН. В дальнейшем, при подходе волны грозового перенапряжения на соседние опоры, срабатывают ОПН, если они установлены, либо перекрываются изоляторы, если волна перенапряжения достаточна велика и ОПН не установлены. При этом соседние опоры начинают участвовать в отводе тока молнии на землю и облегчают условия работы ОПН, установленного на пораженной опоре. Длительность импульса тока, протекающего через пораженный ОПН, уменьшается по сравнению со случаем протекания тока в одиночном молниеотводе. Тем не менее, она достаточно велика. Интересно отметить, что для испытания средств грозозащиты, включающих одиночные молниеотводы, «Инструкция по молниезащите» [5] рекомендует импульс длительностью 350 мкс.

Обычно удар молнии состоит из многократных импульсов. В одном ударе может быть от одного

до 20 импульсов тока при среднем числе импульсов 3 и временном интервале между импульсами порядка 15-50 мсек [6]. За столь короткое время тепловая энергия в ОПН не успевает рассеяться, и это обстоятельство должно учитываться при испытаниях и выборе ОПН. Для варисторов, входящих в ОПН, предназначенных для грозозащиты ВЛ, новые стандарты МЭК [6,7] среди прочих испытаний рекомендуют испытание импульсом 90/200 мкс, который учитывает также и многократность разряда молнии.

Таким образом, длительность импульса тока, которым следует испытывать ОПН, предназначенный для установки на ВЛ, примерно на порядок больше, чем длительность испытательного импульса подстанционных ОПН.

Международный опыт

При освоении новой технологии, в частности — применения ОПН для грозозащиты ВЛ СН, весьма поучительно и полезно проанализировать зарубежный опыт. Наибольший опыт применения ОПН на ВЛ СН накоплен в Японии. В Японии очень жесткие нормы по надежности электроснабжения. Каждый перерыв в электроснабжении ведет к выплатам значительных неустоек потребителям. Поэтому вопросам повышения надежности электроснабжения энергосистемы уделяют самое серьезное внимание. Для уменьшения грозовых отключений еще в 1970 гг. в Японии стали устанавливать ОПН на ВЛ 6,6 кВ, которые являются основными распределительными сетями в этой стране [6]. Первоначально ОПН устанавливались без искрового промежутка между проводом и заземленной опорой. Опыт эксплуатации показал, что вследствие большого числа аппаратов, установленных параллельно изоляторам, снизилась надежность работы линий из-за выхода ОПН из строя при рабочем напряжении и внутренних перенапряжениях.

Следующий этап развития этой технологии состоял в том, что относительно маломощные ОПН с номинальным разрядным током грозового импульса 2,5 кА устанавливались на ВЛ 6,6 кВ с воздушным промежутком. Благодаря наличию искрового воздушного промежутка ОПН перестали подвергаться воздействию внутренних перенапряжений, и надежность работы ВЛ в нормальном эксплуатационном режиме повысилась.

ОПН успешно защищали ВЛ от индуктированных грозовых перенапряжений, и число грозовых отключений существенно снизилось. Однако, при

прямом ударе молнии (ПУМ) в провод ВЛ происходило разрушение ОПН на пораженной и на соседних опорах. Для исключения разрушений ОПН от ПУМ была предпринята попытка увеличения энергоемкости ОПН. На ряд линий были установлены ОПН с номинальным током 5 кА, и в течение нескольких лет осуществлялось наблюдение за этими линиями. Мониторинг показал, что при увеличении номинального тока ОПН с 2,5 кА до 5 кА число отключений и разрушений ОПН вследствие ПУМ в ВЛ практически не изменилось [9]. Этот результат объясняется тем, что реальные токи молнии существенно больше, чем 5 кА. Они лежат в диапазоне от 2 до 200 кА. Среднее значение тока молнии составляет около 30 кА [7].

В результате было принято решение оснастить ВЛ 6,6 кВ грозозащитными тросами и ОПН с номинальным током 2,5 кА с воздушными промежутками. В настоящее время практически все линии этого класса защищены тросами и ОПН. Благодаря этим двум весьма дорогостоящим мероприятиям грозовые отключения были резко сокращены. Тем не менее, отмечаются единичные случаи выхода из строя ОПН даже на ВЛ, защищенных тросами, при ПУМ весьма мощных зимних положительных молний, которые могут иметь токи более 100 кА и длительность импульса порядка тысячи микросекунд.

Таким образом, длительный и обширный опыт эксплуатации в Японии свидетельствует о том, что ОПН на ВЛ СН надежно и безаварийно работают только в сочетании с грозозащитным тросом.

Исследования эффективности работы ОПН на ВЛ СН без грозозащитного троса проводились и в США [10]. В 1993-1995 в энергосистеме Лонг-Айленда на трех ВЛ 13 кВ были установлены ОПН: на одной линии ОПН устанавливались на каждую опору на каждую фазу, на другой — по три штуки на опору через двести метров, и на третьей — через каждые 400 м. Две аналогичные линии были контрольными, т. е. без дополнительных ОПН, установленных на линии. В течение трех лет осуществлялся мониторинг этих линий. По окончании срока наблюдения были обработаны и опубликованы результаты наблюдений [10]. По данным авторов число отключений не уменьшилось, а даже несколько выросло. Авторы объясняют это тем, что и до установки дополнительных ОПН на ВЛ было достаточно много ОПН, защищавших столбовые трансформаторные подстанции и одновременно изоляцию участ-

ков ВЛ от индуцированных перенапряжений. Установка дополнительных ОПН не повлияла на эффективность грозозащиты, т. к. ОПН без троса не смогли защитить ВЛ от отключений при ПУМ в провода.

В [11] приведен анализ международного опыта по грозозащите ВЛ СН и защищенных проводов от пережога дугой сопровождающего тока. В статье рассмотрены различные способы защиты, в том числе и при помощи ОПН. Китайские специалисты пришли к выводу, что ОПН на ВЛ без грозозащитного троса — дорогое мероприятие, требующее значительных эксплуатационных расходов на замену вышедших из строя ОПН при ПУМ.

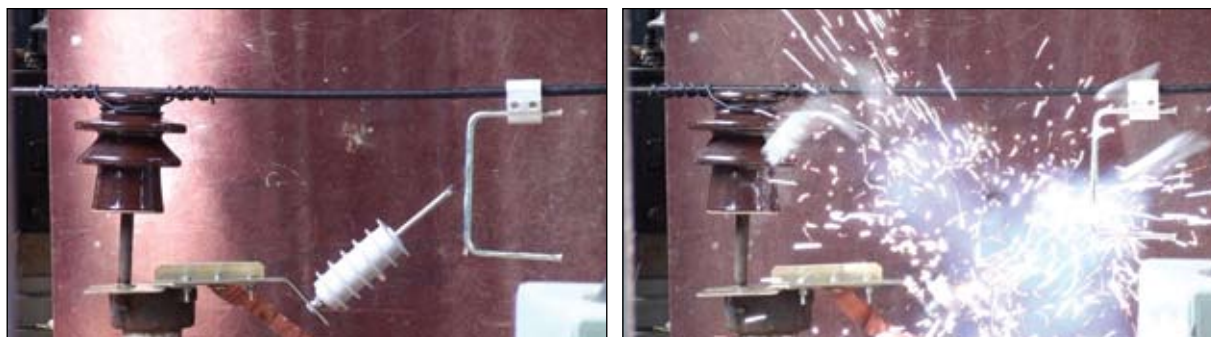
Таким образом, международный опыт эксплуатации ОПН на ВЛ СН показывает, что они могут успешно работать лишь в сочетании с грозозащитным тросом, но это слишком дорогое решение.

Экспериментальная проверка

В последнее время для защиты ВЛ 10 кВ от грозовых перенапряжений предлагается, так называемое, устройство защиты от грозовых перенапряжений (УЗПН), состоящее из ОПН на напряжение 12 кВ в корпусе из кремнийорганической резины с полимерным каркасом и варисторами диаметром 45 мм, а также искрового воздушного промежутка (рис. 2, а). Среди электрических характеристик УЗПН указано, что аппарат выдерживает два импульса 65 кА 4/10 мкс., а на сайте изготовителя приводятся рассуждения о том, что токи молнии, превышающие 65 кА, встречаются крайне редко и поэтому выход из строя УЗПН при ПУМ — явление весьма маловероятное. Следует обратить внимание на то, что заявленный импульс тока — короткий, всего 10 мкс, что, как было показано выше, соответствует условиям работы ОПН на подстанциях, но не соответствует реальным условиям работы ОПН на ВЛ без грозозащитного троса.

ОАО «Холдинг МРСК» организовало проверку соответствия серийно выпускаемых устройств защиты от грозовых перенапряжений, устанавливаемых на ВЛ, требованию по стойкости к токовым воздействиям при прямом ударе молнии с учетом реальных временных параметров импульсов. Среди прочих средств защиты от грозовых перенапряжений были проведены испытания УЗПН. Испытания проводились в лаборатории ГОУ ВПО ВИТУ с целью проверки соответствия УЗПН требованиям МЭК в части воздействия импульсного тока с временными параметрами 90/200 мкс. [5]. Испытаниям подвергались

Рис. 2 УЗПН на испытательном макете ВЛ:



а) до подачи импульсов тока;

б) при воздействии импульса тока.

три образца серийно выпускаемого изделия УЗПН. В связи с тем, что технические характеристики испытательного оборудования не позволяли в полной мере воспроизвести импульсный ток, с амплитудно-временными параметрами заданными МЭК, взамен однократного импульса 90/200 мкс к испытуемым изделиям прикладывались четыре импульса тока заданной амплитуды с временными характеристиками 20/50 мкс. Интервал между импульсами

составлял около 5 минут. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, все три образца разрушились при воздействии четвертого импульса (рис. 2, б). Поэтому испытательная лаборатория ГОУ ВПО ВИТУ сделала следующее заключение: «Испытуемый УЗПН подвержен выходу из строя или полному разрушению в форме взрыва при пропускании неоднократных (двух, трех, четырех) импульсов тока

Табл. 1. Результаты испытаний УЗПН импульсами тока 20 кА 25/50 мкс

№ п/п	№ имп.	Амплитуда тока, кА	Тф, мкс	Тимп, мкс	Результат воздействия импульсов
1	1	22,4	20	55	Нагрев аппарата ~ на 50 °С
	2	21,2	21	45	Нагрев аппарата ~ на 100 °С
	3	21	21	49	Нагрев аппарата ~ на 150 °С
	4	20,4	20	50	Разорвался на куски
2	1	18	21	52	Нагрев аппарата ~ на 50 °С
	2	19	20	50	Нагрев аппарата ~ на 100 °С
	3	20	20	50	Покрышка раздулась с одной стороны
	4	40	20	50	Перекрытие внутри ОПН по газовому пузырю, ОПН разорвался на части.
3	1	20	20	50	Нагрев аппарата ~ на 50 °С
	2	20	20	50	Нагрев аппарата ~ на 100 °С
	3	20	20	50	Покрышка раздулась с одной стороны
	4	39,6	20	50	Перекрытие внутри ОПН по газовому пузырю, ОПН разорвался на части

с амплитудой 20 кА и временными параметрами 20/50 мкс и, исходя из пересчета по интегральному эффекту, соответственно, не способен быть стойким к воздействию однократного импульса тока молнии с нормированными стандартом IEC 60099-4 параметрами по времени 90/200 мкс при амплитуде тока 20 кА».

Заключение

Вероятность появления тока молнии, превышающего 20 кА, составляет $P_{кр} = 82\%$ [7]. Таким образом, почти каждый удар молнии в линию будет приводить к разрушению установленных на ней УЗПН.

На основании зарубежного опыта эксплуатации ОПН на ВЛ среднего напряжения и экспериментальной проверки работоспособности УЗПН при воздействии импульсов тока молнии реальной длительности можно сделать вывод от том, что ОПН на ВЛ 10 кВ без грозозащитного троса подвержены частым разрушениям, и их использование для грозозащиты ВЛ нецелесообразно.

*Г.В. Подпоркин, д-р техн. наук;
В. Е. Пильщиков, канд. техн. наук;
А. Д. Сиваев, канд. техн. наук*

Литература

1. Г. В. Подпоркин, А. Д. Сиваев «Об эффективности системы грозозащиты сетей 6 — 10 кВ длинно-искровыми разрядниками», «Энергетик» 6, 2009, С. 5-8.
2. «Положения о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» в распределительном электросетевом комплексе» (ФСК, 2006 г.).
3. ГОСТР 52725-2007 «Ограничители перенапряжений нелинейные для Электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ».
4. «Инструкция по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003.
5. IEC 60099-4, Edition 2.1, 2006-07: Surge arresters — Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems.
6. Project IEC 60099-8: Externally Gapped Line Arresters (EGLA).
7. Lightning and Insulator Subcommittee of the T&D Committee «Parameters of Lightning Strokes: A review», IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January 2005, p. 346-358.
8. M. Washino, A. Fukuyama, K. Kito and K. Kato, «Development of current limiting arcing horn for prevention of lightning faults on distribution lines,» IEEE Trans. Power Del., Vol. 3, No. 1, January 1988, p. 187–196.
9. K. Nakada et. al. «Energy Absorption of Surge Arresters on Power Distribution Lines due to Direct Lightning Strokes-



Effects of an Overhead Ground Wire and Installation Position of Surge Arresters», IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.12, No. 4, October 1997, p. 1779-1785.

10. T. A. Short, R. H. Ammon «Monitoring Results of the Effectiveness of Surge Arrester Spacings on Distribution Line Protection», IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 14, No. 3, July 1999, p. 1142-1150.

11. J. He, S. Gu, S. Chen, R. Zeng «Discussion on Measures Against Lightning Breakage of Covered Conductors on Distribution Lines» IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.23, No. 2, April 2008, pp.693-702 (см. перевод статьи «Воздушные линии с защищенными проводами: способы грозозащиты», «Новости Электротехники» 2008 г. №4(52) и №5(53)).